

TARTU ÜLIKOOL  
EESTI MEREINSTITUUT JA  
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT  
ZOOLOOGIA OSAKOND  
LOODUSRESSURSSIDE ÕPPETOOL

**Kirsi Loide**

**ANDMETE SAGEDUSE JA ARVUTUSMEETODI MÕJU  
ZOOPLANKTONI PIKA-AJALISTE TRENDIDE HINNANGUTELE**

Magistritöö

Juhendaja: Ph.D Riina Klais

TARTU 2014

## SISUKORD

1. SISSEJUHATUS .....	3
2. ZOOPLANKTON .....	7
2.1 Töös käsitletavate zooplanktoni rühmade kirjeldus.....	7
2.1.1 Aerjalalised ( <i>Copepoda</i> ) .....	8
2.1.2 Vesikirbulised ( <i>Cladocera</i> ).....	9
2.1.3 Keriloomad ( <i>Rotifera</i> ).....	10
2.2 Läänemere zooplanktonikoosluse sesoonne ja ruumiline dünaamika .....	11
3. MATERJAL JA MEETODID .....	14
3.1 Uurimisala.....	14
3.2 Proovide kogumine ja töötlemine .....	15
3.3 Andmeanalüüs.....	16
4. TULEMUSED .....	19
5. ARUTELU.....	23
KOKKUVÕTE .....	25
SUMMARY .....	26
TÄNUAVALDUSED.....	27
KASUTATUD KIRJANDUS.....	28

## 1. SISSEJUHATUS

Mesozooplankton (heterotroofne hulkrakne loomne hõljum veeökosüsteemides, organismid suurusvahemikus 0.2-20 mm) on oluline lüli primaarprodutsentide (fütoplankton) ja kõrgemate toiduahela astmete vahel (Mackas ja Beaugrand, 2009), mistõttu muutused zooplanktoni liigilises koosseisus ja võtmerühmade suhtelistes arvukustes on olulised nii ökosüsteemide toimimise ja seisundi hindamisel, kui ka majanduslikult oluliste kalavarude prognoosimisel (Ikauniece, 2001; Möllmann *et al.*, 2008; Suikkanen *et al.*, 2013). Zooplanktoni liikide arvukused kuuluvad vastavalt Läänemere Kaitsekomisjoni e. Helsingi Komisjoni (HELCOM) otsusele rahvusvahelise, kogu Läänemerd hõlmava seire seiratavate muutujate hulka. Pidev seire tagab vajaliku informatsiooni Läänemere ökosüsteemis toimuvate inimtegevuse ja looduslike tegurite poolt põhjustatud muutuste jälgimiseks ja uurimiseks. Alates aastast 1979 seiratakse Läänemere erinevaid füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi parameetreid. Hüdrograafiliste mõõtmiste abil jälgitakse veevahetust, veesamba kihistumist ja eelkõige süvikualade põhjalähedase vee hapnikusisaldust eri aasta-aegadel. Keemiliste ja bioloogiliste mõõtmiste abil jälgitakse eelkõige eutrofeerumisest tingitud muutusi, nagu füto- ja zooplanktoni biomass, klorofüll *a* kontsentratsioon, lahustunud ja partikliliste toitainete sisaldus vees, ning raskemetallide ja orgaaniliste mürkide sisaldust vees ja elusorganismides. Enamus seireuuringutes kasutatavatest meetoditest on akrediteeritud ja Läänemere kaitselepingu raames kogutud mõõtmistulemustest koostatakse igal aastal raport HELCOMile (Palosaari ja Rantajärvi, 2007; HELCOM, 2014). Läänemere kaitsekomisjoni poolt on paika pandud ka ühtsed reeglid zooplanktoni proovide kogumiseks ning analüüsimiseks (HELCOM, 2014).

Seireandmete põhjal on avaldatud arvukalt töid zooplanktonikoosluste pikaajaliste nihete kohta. Zooplanktoni pikaajaliste ridade analüüs on oluline, kuna i) zooplankton on kõige tähtsam teisene produtsent veeökosüsteemides ii) mesozooplankton on üldiselt piisavalt arvukas, et võimaldada lihtsate proovivõtumeetoditega nende arvukusi määrata ja eri uurijate tulemusi omavahel võrrelda; iii) mesozooplanktoni elutsüklil on piisavalt lühike, et arvukuste varieeruvust eri aastail saaks siduda keskkonnatingimuste varieeruvusega (Hays *et al.*, 2005; Mackas ja Beaugrand, 2009). Arvukuse varieeruvuse seostamist keskkonnaga toetab ka see, et väga väheseid zooplanktoni liike majandatakse tööduslikult (Hays *et al.*, 2005; Mackas ja Beaugrand, 2009). Ulatuslikud muutused zooplanktoni

arvukuses võivad avaldada olulist mõju ökosüsteemi funktsioneerimisele – peaaegu kõik kalaliigid toituvad vastsestaadiumis zooplanktonist, ning zooplanktoni liigiline koosseis määrab selle, milliseid fütoplanktoni suurusklasse ja kui intensiivselt kontrollitakse (Ikauniece, 2001; Möllmann *et al.*, 2008; Dalpadado *et al.*, 2012; Suikkanen *et al.*, 2013).

Uuritud on Läänemere zooplanktoni arvukuse ja biomassi varieeruvust pikemate ajaperioodide jooksul (Ojaveer *et al.*, 1998; Vuorinen *et al.*, 1998) ning seoseid kliima muutlikkusest tingitud muutustega keskkonnas - nt temperatuuri ja soolsusega (Dippner *et al.*, 2000; Möllmann *et al.*, 2000a; Dippner *et al.*, 2001; Ikauniece, 2001; Möllmann *et al.*, 2002; Möllmann *et al.*, 2005; Möllmann *et al.*, 2008). Samuti on uuritud keskkonna heterogeensuse mõju zooplanktoni liigilisele koosseisule ja arvukusele (Otto *et al.*, 2014) ning võimalikke režiimihete esinemisi Läänemere zooplanktonikoosluses (Möllmann *et al.*, 2008; Suikkanen *et al.*, 2013). Soolsuse vähenedes väheneb zooplanktoni isendite keskmine suurus (Ojaveer *et al.*, 1998; Vuorinen *et al.*, 1998), mis avaldab potentsiaalselt olulist mõju zooplanktonist kõrgemal asuvatele troofilistele tasemetele. Ikauniece (2001), Möllmann *et al.* (2000b) ja Möllmann *et al.* (2002) näitasid, et kõige arvukamate mesozooplanktoni liikide arvukused on seotud hüdroloogiliste näitajate ja zooplanktonist toituvate organismide arvukustega. Keriloomade arvukus sõltub suurel määral veetemperatuurist, vesikirbuliste arvukus rohkem soolsusest ning aerjalaliste arvukus sõltub kevadistest veetemperatuuridest (Dippner *et al.* 2000, 2001). Möllmann *et al.* (2008) ja Suikkanen *et al.* (2013) ennustavad, et Läänemere zooplanktoni koosluses on soolsuse langemise ja temperatuuri tõusu tagajärjel toimumas režiiminihe, mille põhiliseks oodatavaks tagajärjeks on praeguse toiduvõrgustiku asendumine mikroobse, vähem efektiivsema võrgustikuga, kus domineerivad väiksemad organismid. Taoline ümberstruktureerimine tähendab halvemat toidu kvaliteeti kõrgematele toiduahela astmetele, ennekõike kaladele.

Merelise aerjalalise liigi *Oithona similis*, kes on ka kõrgema soolsusega veemasside indikaatorliigiks, arvukus on langenud, sest liigile omaste elupaikade – kõrge hapnikusisaldusega ja õige soolsusega veemasside ruumala – on Läänemeres vähenenud. Üldine mesozooplanktoni arvukuse langus üle kogu Läänemere alates 1990-ndatest aastatest jätkub mitmete domineerivate taksonite, peamiselt mereliste aerjalaliste, nagu *P. acuspes*, arvukuste languse tõttu (O'Brien *et al.*, 2013), isegi kui teiste tüüpiliselt kõrge arvukusega aerjalaliste, nagu *Acartia spp.* ja *T. Longicornis*, arvukused on suurenenud enamikes vaadeldavates piirkondades. Suurenenud on ka *Calanus spp.* arvukus Läänemere

kõige läänepoolsemas piirkonnas. Kõige tavalisemate invasiivsete zooplanktoni liikide nagu ameerika kammloom *Mnemiopsis leidyi*, ja vesikirbulised *Cercopagis pengoi* ja *Evadne anonyx* arvukustes ei ole näha tõusutrendi. *C. pengoi* ja *E. anonyx* on Läänemere põhja- ja keskosa zooplanktoni koosluses püsivalt esindatud kõikidel suvekuudel ning neil on püsivad puhkemunade varud pelaagiliste populatsioonide moodustumiseks varasuvel (O'Brien *et al.*, 2013). Läänemere madalama põhjapoolse osa suurte aerjalaliste arvukuse langust seostatakse jõgede sissevoolu suurenemise ning soolsuse langusega (Ojaveer *et al.*, 1998; Vuorinen *et al.*, 1998). Sügavamas keskosas on merelise aerjalalise *Pseudocalanus spp.* biomass vähenenud alates 1980-ndatest aastatest, samas kui riimveeliste *Temora longicornis* ja *Acartia spp.* arvukus on tõusnud. *Pseudocalanus spp.* arvukuse langus on tingitud Läänemere põhjakihtide soolsuse vähenemisest, mis omakorda on tingitud soolase vee sissevoolude sageduse vähenemisest. *Pseudocalanus spp.* munad küpsevad ja vastsed valmivad Läänemere kesk- ja lõunaosa sügavamates, külmemates ja soolasemates veekihtides. Nende veemasside hapnikusisalduse ning soolsuse langus vähendab *Pseudocalanus spp.* munade ja vastsete ellujäämist (Möllmann *et al.*, 2000b). *Acartia spp.* ja *Temora longicornis*'e arvukuse tõus 1990-ndatel aastatel on seotud kõrgemate veetemperatuuridega (*Acartia spp.* puhkemunad aktiveeruvad kõrgemate veetemperatuuride juures) (Möllmann *et al.*, 2000b; ICES, 2008), mida põhjustavad suureskaalalised ilmastikumustrid (püsivalt positiivne Põhja-Atlandi Ostsillatsiooni faas) (Möllmann *et al.*, 2005).

Enamik eelpool loetletud töödest, mis mainivad pikaajalisi trende, eriti International Council for the Exploration of the Sea (ICES) raportid, aga ka nt Suikkanen *et al.* (2013), on teinud järeldusi analüüsides kord aastas, enamasti augustis, kogutud proovide põhjal. Zooplanktoni hulka kuuluvate liikide ökoloogiat arvestades ei ole kord aastas kogutud proovid kindlasti võimelised peegeldama kõigi liikide elutsükli kiirusest tingitud varieeruvust, seega tulemused ei pruugi adekvaatselt mõõta tegelikke trende, eriti liikide puhul, kelle arvukuse maksimum ei lange proovivõtu ajale. Seda probleemi on maininud ka Hansson *et al.* (2010) ja Ikauniece (2001).

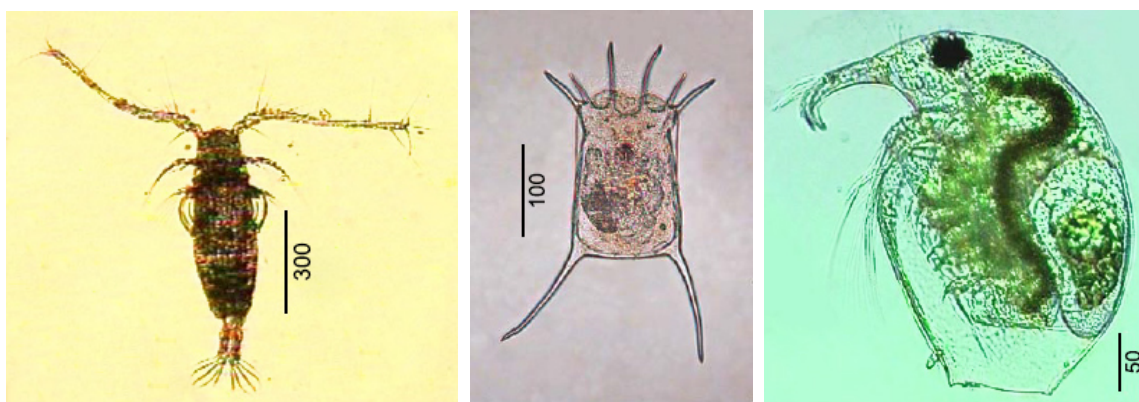
Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida Läänemere zooplanktonikoosluse pikaajaliste trendide käitumist kahes jaamas Eesti rannikumeres, millest pikema aja (>10 aasta) jooksul on väga tihti (20-40 korda aastas) proove kogutud. Peamine eesmärk on võrrelda eri taksonite kaupa leitavate trendide sõltuvust sellest, kui suurt osa andmetest analüüsis kasutada. Uurin, 7 eri taksoni (aerjalalised: *Acartia spp.* ja *Eurytemora affinis*, vesikirbud:

*Bosmina* spp., *Pleopsis polyphemoides*, *Evadne* spp., ja keriloomad: *Synchaeta* spp. ning *Keratella* spp.) arvukuste põhjal, kas tulemused erinevad üksteisest oluliselt, kui trende arvutada aasta kohta ühel juhuslikult valitud proovil augustis, kõigil proovidel, mis on kogutud augustis, või kõigil proovidel, mis on kogutud aktiivse produktsiooni perioodi (aprill-november) jooksul, võttes arvesse ka taksonite sesoonse varieeruvuse. Lisaks uurin, kuidas sõltub augusti ja aasta keskmiste arvukuste korrelatsioon liigi arvukuse sesoonsusest, s.t. kui tugev on arvukuse sesoonne käik. Kuna zooplanktoni seire on üsna kulukas, on äärmiselt oluline teada, kuidas planeerida ja optimeerida proovivõtu sagedust, samuti, kui usaldusväärsed on juba avaldatud töödes esitatud trendihinnangud eri zooplanktoni taksonite kaupa. Eeldan (hüpotees 1), et **taksonite puhul, kelle arvukuse sesoonne käik on selgemini väljajoonistuva maksimumiga ja kordub aastast aastasse üsna samasuguse mustrina, ja eriti (hüpotees 2) kui arvukuse maksimum satub augustisse, on trendihinnangud usaldusväärsemad kui taksonite puhul, kellel väga selget sesoonset arvukuse mustrit ei ole, või kelle arvukuse maksimum ei satu augustisse.**

## 2. ZOOPLANKTON

### 2.1 Töös käsitletavate zooplanktoni rühmade kirjeldus

Planktoniks ehk hõljumiks nimetatakse vees hõljuvate taimede ja loomade kogumit. Tavaliselt on hõljumiorganismide kulgemiselundid nõrgalt arenenud ja seega nende aktiivse liikumise võime piiratud. Planktilise eluviisiga võivad olla nii taimed kui ka loomad. Vastavalt sellele nimetatakse taimhõljumit fütoplanktoniks ja loomhõljumit zooplanktoniks. Zooplanktoni tähtsamateks esindajateks on ainuraksed, väiksemad hulkraksed (keriloomad, paljud koorikloomad) ja mitmesuguste loomade (usside, koorikloomade, sammalloomade, limuste, kalade) munad ning vastsed (Järvekülg ja Veldre, 1963; Mackas ja Beaugrand, 2009). Eristatakse ainurakset ehk protozooplanktonit ja hulkrakset ehk metazooplanktonit (Haberman ja Virro, 2003) ning suuruse alusel mikrozooplanktonit ( $< 0.2$  mm) ja mesozooplanktonit (0.2-20 mm) (Lalli ja Parsons, 1997). Toitumistüübilt jaguneb zooplankton kolme rühma: 1) taimtoidulised ehk herbivoorsed zooplankterid, kes filtreerivad veest toiduks vetikaid ja baktereid; 2) röövvormid, kes söövad eelkõige oma kaaslasi – teisi zooplanktereid; 3) detriivoorid, kes söövad veetaimede ja –loomade poollagunenud jäänuseid – pudet ehk detriiti (Haberman ja Virro, 2003). Antud töös käsitletakse kolme zooplanktoni rühma: aerjalalised (*Copepoda*), vesikirbulised (*Cladocera*) ja keriloomad (*Rotifera*) (joonis 1). Keriloomad on metazooplanktereist kõige väiksemad, enamasti 0.1-0.3 mm pikkused. Vesikirbulised ja aerjalgsed on küll keriloomadest tunduvalt suuremad, kuid nendegi pikkus ei ületa oluliselt 1 mm (Haberman ja Virro, 2003).



**Joonis 1.** Näiteid uuritud zooplanktoni taksonite esindajatest, vasakult: *Acartia* spp., *Keratella* spp., *Bosmina* spp. Telesh et al. (2009).

### 2.1.1 Aerjalalised (*Copepoda*)

Aerjalalised kuuluvad hõimkonda lüljalgsed, alamhõimkonda vähilaadsed, alamklassi alamad vähid, seltsi aerjalalised (*Copepoda*). Esineb nii vabalt elavaid, kui ka parasiidseid aerjalalisi. Vabaltelavate hulgas esineb osa avavetes ning on seal planktoni püsivaks koostisosaks. Talvel ja kevadel on aerjalalised valdavaks teiste planktoni elementide hulgas. Liikide arvult ületavad merevormid mageveevorme. Vabalt elavad aerjalalised on väikesed saledad vähikesed, kelle pikkus on tavaliselt 0.5-2 mm. Nende keha on hästi segmenteerunud; peaosa on kokku kasvanud ühe või kahe rindmikusegmendiga. Esineb vaid naupliuse silm, liitsilmad on kõigil juhtumel kadunud. Peale viie paari kaheharuliste, lamendunud rindmikujalgade täidavad eriülesandega lokomotoorsete elundite ülesannet ka pea jäsemed. Tagakeha on ilma jäsemeteta ja kannab tipul harki.

Emane muneb mõnikord munad üksikult, kuid enamasti kleebitakse munad ühtseks massiks kokku ja see jääb kuni noorte koorumiseni munajuha ava külge. Aerjalaliste arenemine toimub alati metamorfoosiga. Algab naupliuse staadiumiga, millele järgnevad metanaupiluse ja kopepodiidne staadium (Abrikossov *et al.*, 1960). Erinevalt enamikust vesikirbulistest ja keriloomadest on täiskasvanud aerjalalised ja nende IV-V astme kopepodiidid rõõvloomad, kes söövad endast väiksemaid zooplanktereid ja ainurakseid (Haberman *et al.*, 2008). Taimetoidulised filtreerijad on vaid aerjalgsete vähikvastsed ehk naupliused (*nauplii*) ja I-II astme kopepodiidid (*copepodites*) (Haberman ja Virro, 2003).

Enamik aerjalalisi esineb planktonis peaaegu kogu aasta vältel, kusjuures mereliste liikide arenemise maksimum langeb talvele ja kevadele, riimveelistel liikidel peamiselt soojale aastaajale. Riimveelised liigid v.a *Limnocalanus grimaldi* hoiduvad ülemistesse veekihtidesse merelised enamasti sügavamale (Järvekülge ja Veldre, 1963). Peamiselt elutsevad *Acartia spp.* liigid veekogu pinnakihi (Otto *et al.*, 2014). *Acartia bifilosa* on üks kõige dominantsemaid hormikuliste liike Läänemeres ning ta on planktonis esindatud peaaegu kogu aasta (talvel vähesel määral). Kevadise arvukuse maksimumi moodustavad naupliused, kes kooruvad eelmise aasta puhkemunadest (Katajisto, 2003). Peamised hüdrograafilised muutujad, mis *Acartia* rühma mõjutavad on vee temperatuur ja soolsus (Vuorinen *et al.*, 1998; Möllmann *et al.*, 2000b). *Acartia* liikide veetemperatuuri optimum jääb vahemikku 6-16 °C ning kevadist arvukuse tõusu (reproduktiooni) soosib soe



veetemperatuur, külm talv mõjutab reproduktsiooni kiirust ja algusaega - pärast külma talve algab reproduktsioon hiljem ja on aeglasem (Dippner *et al.*, 2000).

### 2.1.2 Vesikirbulised (*Cladocera*)

Vesikirbulised kuuluvad hõimkonda lüljalgsed, alamhõimkonda vähilaadsed, alamklassi alamad vähid, seltsi lehtjalalised, alamseltsi vesikirbulised (*Cladocera*). Vesikirbulised on tugevasti lühenenud kehaga ning neil esineb 4-6 jalapaari, mis röövvormidel on lülistunud ja muutunud haardeelundeiks. Filtreerivail vormidel on jalad lülistumata, lühenenud ja muutunud laiaks. Enamik vesikirbulisi on 0.2-6 mm pikad (Brusca ja Brusca, 1990; Forró *et al.*, 2008). Mediaalsel serval kannavad nad pikki hargnevaid harjaseid, mis moodustavad filtri peaosa. Sellisele filtrile jäävad kinni kõige väiksemadki organismid (Abrikossov *et al.*, 1960). Suured vesikirbulised söövad peamiselt vetikaid, väikesed baktereid ja detriiti. Vesikirbulised on zooplanktoni kõige soojalembesem rühm (Haberman *et al.*, 2008). Vesikirbuliste munad on kahesugused: suvi- ja talimunad. Suvimunad arenevad ilma viljastamata. Nad on rebuvaesed, väikesed ja lihtsa õrna kestaga ning arenevad kiiresti pärast munasarjast väljumist. Talimunad võivad ilma kahjustamata ära kuivada ja külmuda, kuivamine ja külmumine hoopiski kiirendavad nende arenemist. Nad on sageli kaetud paksu kestaga ning neid munetakse tavaliselt ainult 1-2 (Abrikossov *et al.*, 1960).

Vesikirbulistel esineb põlvkondade tsüklilisus, mis seisneb enam-vähem korrapärases partenogeneetiliste (paljunemisviis, mille puhul emasorganism annab järglasi ilma sama liigi isasrakkude osaluseta.) ja lahksuguliste põlvkondade vaheldumises. Mõnel liigil ei esine aasta jooksul mitte üks vaid kaks või enamgi põlvkondade tsüklit. Põlvkondade vaheldus on seoses väliskeskkonna sesoonsete muutustega (temperatuur, toitumisrežiim) (Abrikossov *et al.*, 1960; Forró *et al.*, 2008). Vesikirbuliste massiline esinemine langeb soojale aastaajale. Nad hoiduvad sel ajal ülemistesse soojematesse veekihtidesse, paljunedes partenogeneetiliselt (Järvekülg ja Veldre, 1963). Vesikirbulistest toituvad peaaegu kõik magevete loomarühmad, eriti kalamaimud. Seda soodustab vesikirbuliste kiire, massiline paljunemine (Abrikossov *et al.*, 1960).

*Bosmina longispina maritima* on Läänemere endemne alamliik ja kuulub kõige arvukamate mesozooplanktoni liikide hulka (Viitasalo ja Viitasalo, 2004). *Bosmina coregoni maritima* esineb soolsuspiirides 1.2-10.2 promilli, saavutades suurima arvukuse 4-5 promillilise soolsuse juures (Järvekülg ja Veldre, 1963). Mageveeliigi *Bosmina coregoni maritima* osakaal Läänemere koosluses tõuseb läänesuunas (Ojaveer *et al.*, 1998).

*Bosmina* spp. arvukus varieerub aastasiseselt suurel määral. Suvel, kui esinevad sobivad ilmastiku ja toitumistingimused võib *Bosmina* spp. arvukus läbi intensiivse suvimunade tootmise kiiresti kasvada. Kui aga keskkonnatingimused halvenevad produtseerivad emased talimune ning *Bosmina* rühm kaob planktonist. *Bosmina* spp. populatsiooni järsk suurenemine kevadel tuleneb talimunade koorumisest, seega määrab talimunade ellujäämus ja koorumise edukus kevadise populatsiooni suuruse (Viitasalo ja Viitasalo, 2004). Läänemere avaosa planktoni tähtsaimaks komponendiks on mereline avarasoolane liik *Evadne nordmanni*, kes on levinud soolsustel 3.6-35.4 promilli. *E. nordmanni* on vesikirbulistest üks esimesi liike, kes ilmub kevadisse zooplanktoni kooslusesse. Tema temperatuuri optimum jääb vahemikku 6-12 °C, sellest tulenevalt ei ole *Evadne* liikide arvukus suvel võrreldav teiste vesikirbuliste nagu *Bosmina longispina* omaga (Dippner *et al.*, 2000). Läänemere üks arvukaimatest liikidest eurütermne *Pleopsis polyphemoides*, kes eelistab riimveelist või magedaveelist keskkonda on (Pöllupüü *et al.*, 2010) ilmub zooplanktoni kooslusesse ja muutub arvukaks hiljem, kui *Evadne nordmanni* (Dippner *et al.*, 2000).

### 2.1.3 Keriloomad (*Rotifera*)

Keriloomad kuuluvad hõimkonda ümarloomad ja klassi keriloomad (*Rotifera*). Keriloomad on väikesed magevee- ja mereloomad. Enamike kerilooma liikide suurus jääb alla 1 mm, mõned võivad saavutada ka pikkuse 2-3 mm (Brusca ja Brusca, 1990). Peapoolses otsas on neil isesugune ripsmetest elund. See koosneb keerukatest, enamasti kahe pärjana asetsevate ripsmete kompleksist. Seda elundit nimetatakse kerielundiks (keriaparaadiks) (Abrikossov *et al.*, 1960; Segers, 2008). Enamik on lepidoidulised ning kuuluvad väikeste mõõtmete tõttu mikrofiltraatorite hulka, kes saavad süüa vaid baktereid, ainurakseid ja üliväikseid vetikaid (Haberman *et al.*, 2008). Keha on enamasti piklik, ristlõikes kas ümmargune või lame. Mõned vormid on kerajad. Tüüpilisel juhul on kerge eristada pead, mis on varustatud kerielundiga, keret ja sabaosa, mida nimetatakse ka jalaks. Jalg lõpeb tavaliselt kahetipmelise hargiga. Jalg on kinnitusvahendiks, mille abil keriloom püsib paigal (Abrikossov *et al.*, 1960). Nad on vähem soojanõudlikud, kui vesikirbulised ja aerjalalised ning nende areng vees talvituvatest püsimunadest täiskasvanud loomani on kiirem (Haberman *et al.*, 2008). Osadel keriloomadel toimub sigimine ikka isaste osavõtul, kes on sama arenenud, kui emased. Enamikul keriloomadel esineb terav seksuaalne dimorfism: emased on hästi arenenud, isastel aga on redutseerunud ehitus, kusjuures täheldatakse

partenogeneetilise ja mõlemasugulise põlvkonna vaheldumist (Abrikossov *et al.*, 1960; Segers, 2008).

Keriloomad saavutavad maksimaalse arvukuse soojal aastaajal. Avarasoojane *Synchaeta baltica* esineb aastaringsest, külmalembene *Synchaeta fennica* ainult kevadel ja sügisel. Kõige merelisema esindaja *Synchaeta baltica* soolsuspiirideks on 0-28 promilli, suurima arvukuse saavutab liik 2-13 promilli juures. Riimveeliste vormide hulka kuuluvad *Synchaeta monopus*, *Synchaeta fennica*, *Synchaeta litoralis*, *Keratella cruciformis*, *Keratella quadrata* (Järvekülg ja Veldre, 1963). Mageveelised keriloomad, peamiselt *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, domineerivad idaosa väikestes lahtedes. *Synchaeta baltica*, *Synchaeta monopus*’e osakaal koosluses tõuseb läänesuunas (Ojaveer *et al.*, 1998). *Synchaeta spp.* arvukuse maksimum esineb kevadel, siis toimub kiire reprodutseerimine partenogeneetiliste munade abil. Sügisel esineb *Synchaeta spp.* teine arvukuse maksimum, kuid see ei ole enam nii kõrge, kui kevadel. *Synchaeta spp.* optimaalne veetemperatuur jääb vahemikku 4-10 °C, seega suvel, kui veetemperatuur tõuseb üle 10 kraadi väheneb *Synchaeta spp.* osakaal zooplanktonis (Dippner *et al.*, 2000).

## **2.2 Läänemere zooplanktonikoosluse sesoonne ja ruumiline dünaamika**

Läänemere eri osade zooplanktoni liigiline koosseis varieerub märkimisväärselt seoses soolsuse, temperatuuri ja veesamba vertikaalse struktuuri erinevustega (Ojaveer *et al.*, 1998; ICES, 2008). Läänemere zooplankton varieerub magedaveelistest liikidest soolaseveelisteni (O’Brien *et al.*, 2013) ning kooslustes domineerivad aerjalalised ja vesikirbulised. Läänemere lõunaosas on planktonis ülekaalus merelised loomaliigid, põhjapoolsetes piirkondades mereliikide osatähtsus järjest väheneb ja ainult kõige laiema soolsuse tolerantsiga mereloomad on levinud ka lahtede planktonis. Samaeagselt soolsuse vähenemisega suureneb riimveeliikide osatähtsus, väikese soolsusega rannikuvetes esineb arvukalt juba ka päris magedaveelisi planktereid. Viimaste rohkus võib teatud määral sõltuda organismide jõeveega merre transportimisest. Põhjamerest perioodiliselt sissevoolava soolase veega jõuavad aegajalt Läänemerre mitmed merelised zooplankterid ja põhjaloomade vastsed (Järvekülg ja Veldre, 1963), mistõttu soolase vee liigid, nagu aerjalaline *Pseudocalanus spp.*, domineerivad sagedamini kõrgema soolsusega Läänemere lõunaosas (ICES, 2008).

Lisaks oleneb zooplanktoni liigiline koosseis (konkreetsete liikide arvukus) liikidele omasest sesoonsest tsüklist. Zooplanktoni liigiline koosseis varieerub sesoonselt kõige

silmatorkavamalt veesamba ülemistes kihtides (soolsuse ja temperatuuri hüppekihtide kohal), kus veetemperatuurimuutuste aastane amplituud on suurim. Olenevalt erinevatest ökoloogilistest tingimustest ja planktoni koostisest võib mere mitmesugustes osades täheldada zooplanktoni aastaajalise tsükli mõningaid erinevusi (Järvekülj ja Veldre, 1963; Ojaveer *et al.*, 1998).

Talvine zooplankton on suhteliselt liigi- ja isendivaene, võrreldes kevadise ja suvise zooplanktoniga. Kohe peale kevadist fütoplanktoni maksimumi arenevad massiliselt ripsloomad; mere põhjapoolsetes piirkondades on valdavaks liigiks autotroofne *Mesodinium rubrum*, keda sageli arvatakse fütoplanktoni hulka, kuna ta sõltub täielikult endosümbiontsetest autotroofsetest vetikatest. Heterotroofsed ripsloomad saavutavad seda suurema arvukuse, mida kõrgem oli fütoplanktoni biomass vastaval alal. Tugev seos fütoplanktoni biomassi ja ripsloomade arvukuse vahel tuleneb ilmselt sellest, et surnud fütoplanktoni arvel arenevad saprofüütsed bakterid, mis on toiduks ripsloomadele (Järvekülj ja Veldre, 1963).

Kevadel tõuseb kõikide zooplanktoni rühmade arvukus, eriti keriloomade ja vesikirbuliste. Zooplanktoni üldist biomassi mõjutab peamiselt aerjalaliste ja vesikirbuliste arvukuste käik, keriloomad on olulised vaid nende kohta väga suurte arvukuste puhul. Märtsis koosneb zooplanktonikooslus peamiselt aerjalalistest, kes on levinud sügavamates vetes. Keriloomad ja vesikirbulised veedavad talve puhkemunadena ning kevadel koorudes ilmuvad soojaveelised liigid esmalt termokliini (temperatuuri hüppekihti) lähedusse ja siis ülemisse veekihti (Ojaveer *et al.*, 1998).

Suvist zooplanktonit iseloomustab kõrgem liigirikkus ning suvine zooplankton koondub rohkem ülemistesse veekihtidesse (Järvekülj ja Veldre, 1963). Vesikirbuliste ja keriloomade osatähtsus zooplanktoni koosluses varieerub aastast aastasse küllalt palju ning nende massiline esinemine leiab aset vaid lühikese aja jooksul juunist juulini, vahel ka augustis (Ojaveer *et al.*, 1998). Keriloomadest esinevad suve alguses kogu mere ulatuses massiliselt perekonna *Synchaeta* liigid; augustis on Põhjalahe, Soome ja Riia lahes levinud magedaveelised vormid *Keratella quadrata* ja *Keratella cochlearis*. Aerjalalistest esinevad suvises planktonis samad liigid nagu talvelgi, lisaks ilmuvad suuremal arvul planktonisse veel riimveelised laia temperatuuri tolerantsiga liigid: *Acartia biflosa* ja *Eurytemora affinis*. Aerjalalised sigivad suvel intensiivselt, mis ilmselt on põhjustatud toiduobjektide (fütoplanktoni, ripsloomade, bakterite) küllusest ja kõrgemast temperatuurist keskkonnas. Paljud merelised aerjalalised (*Pseudocalanus elongatus*,

*Acartia longiremis*, *Temora longicornis*) hoiduvad sügavamatesse kihtidesse. Pinnakihtides arenevad *Centropages hamatus*, *Acartia bifilosa* ja *Eurytemora affinis*. Vesikirbulistest esineb mere lõunaosas kõige arvukamalt liik *Evadne nordmanni*, keskosas ja sellele külgnevates lahtedes *Bosmina coregoni maritima* ja *Pleopsis polyphemoides* (Järvekülg ja Veldre, 1963).

Sügisese zooplanktonis väheneb suviste vormide arvukus ja suureneb külmaveeliste liikide osatähtsus. Sügisele langeb keriloomade *Synchaeta baltica* ja *Synchaeta monopus*'e teine maksimum, mis on väiksem kevadisest maksimumist. Septembris, veetemperatuuri langedes, kahaneb järsult vesikirbuliste arvukus. Seoses kalade ja makroplankterite intensiivse toitumisega väheneb ka aerjalaliste üldhulk (Järvekülg ja Veldre, 1963).

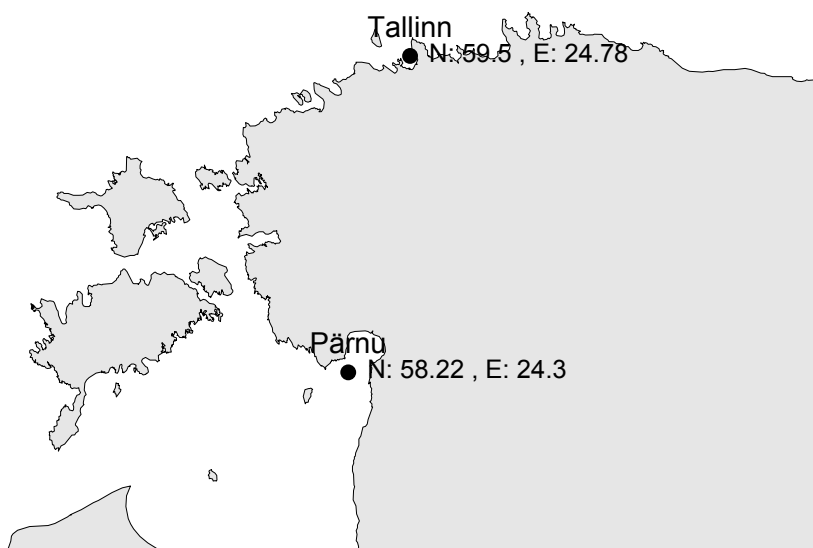
### 3. MATERJAL JA MEETODID

#### 3.1 Uurimisala

Läänemeri on riimveeline sisemeri, mis piirneb Skandinaavia poolsaarega, Euroopa maismaaosaga ja Taani saartega. Keskmine soolsus Läänemeres on mitu korda madalam, kui Põhja-Atlandil ja Põhjamerel. See iseärasus on tingitud asjaoludest, et i) Läänemeri on Põhjamerrega ühendatud ainult kitsaste ja madalate väinade kaudu; ii) Läänemerre suubub ligi 250 jõge, mis igal aastal kannavad merre suure hulga magedat vett; iii) Läänemeri paikneb parasvöötmes, kus madalate temperatuuride tõttu aurumine on tagasihoidlik ja enamvähem tasakaalus sademete hulgaga (Järvekülg ja Veldre, 1963; Telesh *et al.*, 2009; Philippart *et al.*, 2011; O'Brien *et al.*, 2013). Eelnevalt mainitud tegurite tagajärjel on tekkinud Läänemerel soolsuse gradient suunaga edelast kirdesse ja vee ringlus, mida iseloomustab soolase vee sissevool mööda mere põhja ning magedama pinnavee väljavool Taani väinade kaudu (Telesh, 2004; ICES, 2008; Telesh *et al.*, 2009).

Läänemeres asub 60-80 meetri sügavusel püsiv halokliin (soolsuse hüppekiht), mis takistab vertikaalset segunemist ja põhjakihtide veevahetust ning hapnikuvarustust. Lisaks halokliinile esineb hiliskevadest sügiseni veetemperatuuri sesoonsest varieeruvusest tingitud termokliin. Tugeva kihistumise ning rohkelt settiva orgaanilise aine lagunemise tõttu põhjakihtides esineb Läänemere sügavamate keskosade setete kohal pideva anoksia (hapnikupuudus) (ICES, 2008; O'Brien *et al.*, 2013). Läänemere pindala katab 415 266 km<sup>2</sup>, kuid selle valgala on umbes neli korda suurem. Traditsiooniliselt jaotatakse Läänemeri viieks peamiseks alampiirkonnaks: Läänemere avaosas, Botnia laht, Soome laht, Riia laht ning väinad Kattegat ja Skagerrak. Mere keskmine sügavus on natukene rohkem-, kui 50 meetrit ning sügavaim koht asub Läänemere avaosas Landsort'i süvikus, kus sügavuseks on mõõdetud 459 meetrit (HELCOM, 2001).

Töös kasutatud pikaajalised andmerekad on kogutud riikliku seire käigus kahest Eesti rannikumere jaamast Eesti Mereinstituudi poolt (joonis 2). Pärnus ulatub aegrida tagasi 1979. aastani (kokku 1258 proovi, ca 38 proovi aastas), Tallinna lahes 1992. aastani (kokku 500, ca 23 proovi aastas proovi) (joonis 3).



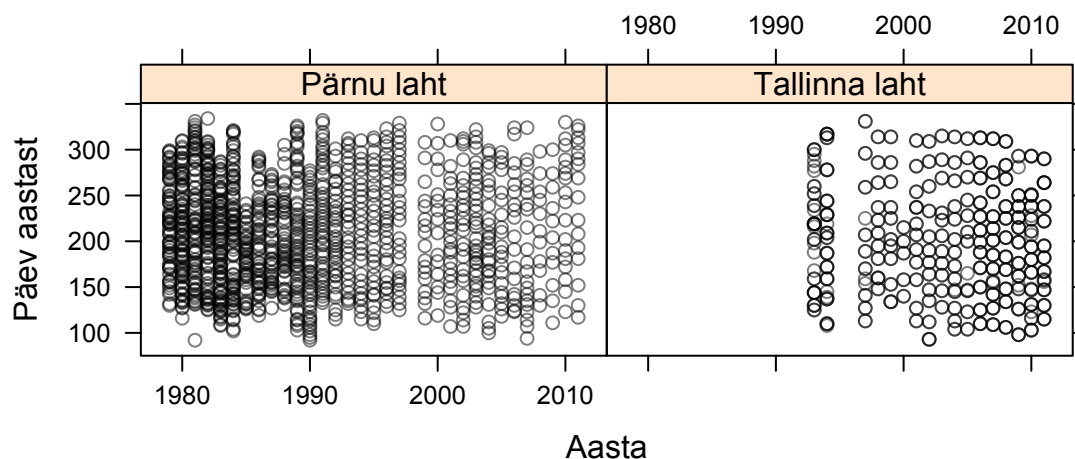
**Joonis 2.** Seirejaamade asukohad.

Pärnu laht on madal, poolsuletud riimveeline laht, mis paikneb Riia lahe kirdeosas ja katab umbkaudu 700 km<sup>2</sup>. Maksimaalne sügavus suureneb järk-järgult alates 7.5 meetrist siseosas kuni 23 meetrini lahe edelaosas. Soolsus varieerub magedaveelisusest kuni 7.5 promillini. Suvel tõuseb keskmine veepinna temperatuur 22-23 kraadini. Enamikel aastatel on Pärnu laht talvel (detsember/jaanuar kuni märts/aprill) jääga kaetud (Põllupüü *et al.*, 2010; O'Brien *et al.*, 2013). Tallinna laht on võrdlemisi avatud ja seal esineb hea veevahetus Soome lahega. Tallinna lahe maksimaalne sügavus on 100 m. Talvisel ajal on laht valdavalt jääkatte all, samas suvel võib veepinna temperatuur juulis olla isegi 24 kraadi. Keskmine soolsus on 6 promilli ja maksimaalne soolsus põhjalähedal isegi 9.25 promilli (O'Brien *et al.*, 2013).

### 3.2 Proovide kogumine ja töötlemine

Zooplanktoni proove koguti planktoni võrguga (*Juday net*) vertikaalselt läbi veesamba tõmmates. Võrgu silmasuurus oli 100 µm ja suuava diameeter 38 cm ning läbitõmbed veesambast toimusid kiirusega 0.5 m/s. Läbitõmbed olid jaotatud osadesse ning tõmmete arv igas jaamas sõltus veesamba kihistumisest. Üldiselt jaotati proovid vertikaalselt 3 ossa: põhi – halokliin, halokliin – termokliin ja termokliin – pinnakiht (HELCOM, 1988).

Proove säilitati 4%-lises formaliini lahuses ning alamproovid võeti Hensen-Stempel pipetiga. Erinevate taksonite isendid loendati Bogorovi kambris binokulaarmikroskoobi abil (Põllupüü, 2010). Aerjalalised analüüsiti arengustaadiumiteni (c. I-III, c. IV-V) ja täiskasvanutel määrati sugu (VI ♀, VI ♂). (HELCOM, 1988).



**Joonis 3.** Kasutatud andmete sesoonne ja pika-ajaline jaotus jaamade lõikes.

### 3.3 Andmeanalüüs

Käesoleva töö andmeanalüüsi valiti seitse taksonit, kes on uuritavates andmetes kõige sagedamini esinenud – aerjalalised: *Acartia* spp. ja *Eurytemora affinis*, vesikirbud: *Bosmina* spp., *Pleopsis polyphemoides*, *Evadne* spp., ja keriloomad: *Synchaeta* spp. ning *Keratella* spp. Aerjalaliste puhul jagati loetud isendid kopepodiidideks (arengujärgud I-III) ja täiskasvanuteks (arengujärgud IV,V ja täiskasvanud) vastavalt Mart Simmi (Eesti Mereinstituut) soovitudele, tuginedes eri vanusejärgude paljunemise kiirusele ja organismide kehasuurusele. Ehkki perekondi *Bosmina* spp., *Keratella* spp., ning *Synchaeta* spp., loetakse aegajalt ka liigini, on enamus uuringuid ja avaldatud tulemusi esitatud perekondade tasemel, seetõttu, tulemuste võrreldavuse huvides, liideti kõigi nimetatud perekondade liikide arvukused perekonna tasemele kokku. Kõigis analüüsides kasutati arvukusi logaritmituna, kuna zooplanktoni isendite arvukused varieeruvad mitu suurusjärku, samas kui suurem osa arvukustest on suhteliselt madalad. Enne logaritmimist lisati igale arvukusele 1, tagamaks, et peale logaritmimist oleksid saadud väärtused alati üle nulli. Järgnevalt, kus on kasutatud terminit “arvukused”, viitab see alati logaritmitud arvukustele.



Aasta keskmised, mis võtaks kokku arvukuste sesoonse varieeruvuse aasta lõikes, ega sõltuks eri aastate täpsest proovivõtu sagedusest ja proovide sesoonsest jaotusest, arvutati lineaarse mudeliga, kus *aasta* ja *kuu* olid kategooriliste faktoritena sõltumatuteks muutujateks, ning liigi arvukus sõltuvaks muutujaks, nagu Laur *et al.* (2014) arvutab sesoonselt tasakaalustatud mudila vastsete ja zooplanktoni isendite aastate keskmisi. Meetod on algselt välja pakutud Carstensen *et al.* (2006) poolt, ja meetodi peamine eelis ning põhjus, miks selle kasuks siin otsustati on see, et meetod võimaldab arvutada võrreldavaid aasta keskmisi ka siis, kui proovide arv ja jaotus aastasiseselt aastate vahel erineb. Lineaarne mudel arvukustega sõltuva muutujana, ja kategooriliste faktoritena defineeritud sõltumatute muutujate *kuu* ning *aastaga* arvutab igale faktorite *kuu* ning *aasta* tasemele individuaalse efekti, ja aasta efektid sisuliselt ongi kasutatavad aastate keskmistena. Antud juhul, et aasta keskmised peegeldaks ühtlasi ka iga liigi aasta keskmist arvukust, mitte ainult aastatevahelisi suhtelisi erinevusi, arvutati iga aasta keskmine lisades kõigi kuude efektidele ja vabaliikmele vastava aasta efekt, ning arvutati keskmine ja parameetri standardviga üle vastava aasta kõigi kuude. Augusti keskmised, mida hiljem korreleeriti aasta keskmistega, arvutati aritmeetilise keskmisena augusti kuu jooksul kogutud proovide arvukustest.

Testimaks, kui järjepidev on kord augustis kogutud proovides sisalduv informatsioon trendide hindamisel, kasutati tagasivaliku meetodit – s.t 1000 korda valiti igast aastast juhuslikult 1 augustikuu proov, ning arvutati neist arvukuse lineaarne trend üle kõigi aastate (lineaarne regressioon, kus arvukus on sõltuv, ning aasta pidev sõltumatu muutuja), ja talletati info selle kohta, kui mitmel korral 1000-st tuvastati statistiliselt oluline ( $p < 0.05$ ) tõus või langus. Lisaks arvutati pikaajaline trend augusti keskmistest arvukustest, ning võrreldi seda trendi tagasivalikumeetodil saadud trendidega (s.t mitmel korral juhuslikest valimitest trend leiti). Ehkki klassikaliselt kasutatakse tagasivalikumeetodit “tõelise” trendi ja selle usaldusvahemike leidmiseks, siis käesolevas töös kasutati tagasivalikut eesmärgiga näidata, milline on šanss leida või mitte leida olulist tõusu või langust, kui kõigi augustis kogutud proovide asemel oleks igal aastal olnud kasutada ainult 1 proov.

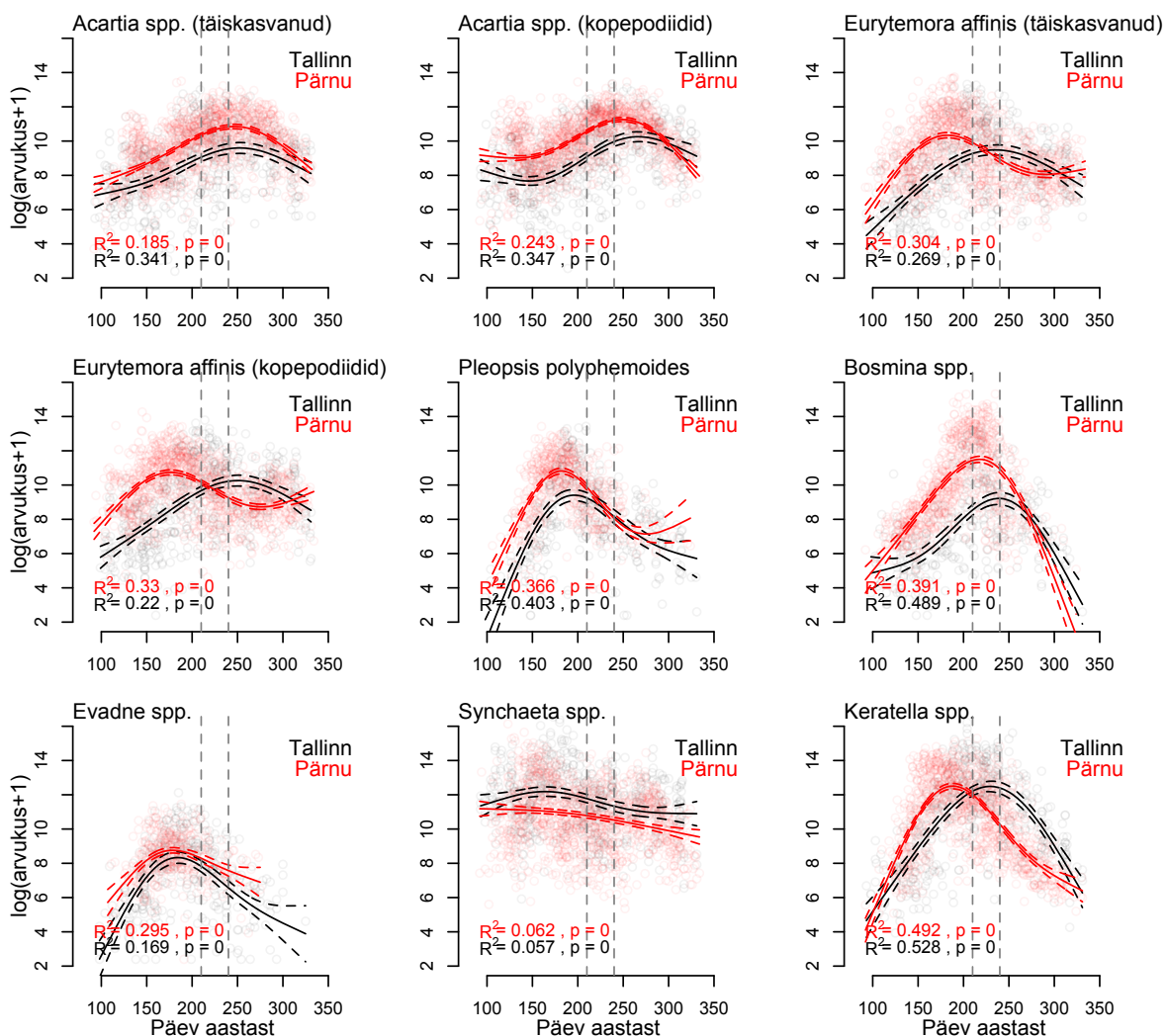
Sesoonse mustritugevust iga liigi ja jaama kohta arvutati mittelineaarse üldistatud aditiivse mudeli abil, kus arvukused olid sõltuvaks ja päev aastast (1-365) sõltumatuks muutujaks. Mittelineaarse mudeli sõlmede maksimumiks seati  $k = 4$ , mis praktikas üldiselt kindlustab, et mudel tuvastaks ühe maksimumi ega oleks liiga kurviline. Kuna kasutati funktsiooni

“gam” R-i paketi “mgcv”, siis see algoritm ühtlasi kasutas sisemist valideerimist, mille alusel tehti otsus, kas kõvera funktsioon, arvestades kasutatud vabadusastmete arvu ning äraseletatud varieeruvust, on õigustatud lineaarse tõusu või languse üle. Algoritm väljastab lisaks sobitatud funktsioonile, mis kirjeldab sesoonse kõvera kuju, ka mudeli olulisuse, standardvea ning äraseletatud hajuvuse. Äraseletatud hajuvuse määra ( $R^2$ ) kasutati sesoonse mustri tugevuse mõõtena – s.t mida suurema osa arvukuste algsest varieeruvusest seletab ära päev aastas, seda täpsemini järgib taksoni arvukus igal aastal sama mustrit, seega, seda tugevam on sesoonsus taksoni arvukuses.

Et hinnata, kui palju määrab sesoonse mustri tugevus augusti ning aasta keskmiste vahelise seose tugevust, arvutati esiteks Pearsoni korrelatsioonikoeffitsient ( $r$ ) augusti keskmiste arvukuste ning lineaarse mudeliga arvutatud aasta keskmiste arvukuste vahel, ning seejärel korreleeriti nimetatud korrelatsioonikoeffitsiente sesoonse mudeli äraseletatud hajuvusega ( $R^2$ ).

## 4. TULEMUSED

Zooplanktoni taksonite sesoonse mustri tugevuse graafikutelt (joonis 4) on näha, et peaaegu kõik antud analüüsis käsitletud taksonite arvukused järgivad sesoonset mustrit, kuid selle tugevus ja maksimumi esinemise aeg varieeruvad liigi ja piirkonna spetsiifiliselt.



**Joonis 4.** Zooplanktoni taksonite sesoonne muster. Üldistatud aditiivse mudeliga arvutatud sesoonsed arvukuse kõverad (arvukus vs päev aastast). Katkendlikud jooned on 95 % usalduspiirid,  $R^2$  on mudeli poolt seletatud hajuvus, katkendlikud vertikaaljooned tähistavad augusti algust ja lõppu, must joon tähistab vastava liigi arvukusi Tallinnas ja punane joon Pärnus.

Kõige tugevam sesoonne varieeruvus on taksonitel: *Bosmina* spp. ( $R^2$ = 39% Tallinnas ja 49% Pärnus), *Keratella* spp. ( $R^2$ = 49% Tallinnas ja 53% Pärnus) ja *Pleopsis polyphemoides* ( $R^2$ = 37% Tallinnas ja 40% Pärnus). Ülejäänud taksonite sesoonne muster

on nõrgem: *Acartia* spp. (täiskasvanud) ( $R^2 = 19\%$  Tallinnas ja  $34\%$  Pärnus), *Acartia* spp. (kopepodiidid) ( $R^2 = 24\%$  Tallinnas ja  $35\%$  Pärnus), *Eurytemora affinis* (täiskasvanud) ( $R^2 = 30\%$  Tallinnas ja  $27\%$  Pärnus), *Eurytemora affinis* (kopepodiidid) ( $R^2 = 33\%$  Tallinnas ja  $22\%$  Pärnus) ja *Evadne* spp. ( $R^2 = 30\%$  Tallinnas ja  $17\%$  Pärnus) või peaaegu olematu, *Synchaeta* spp. ( $R^2 = 6\%$  Tallinnas ja  $6\%$  Pärnus).

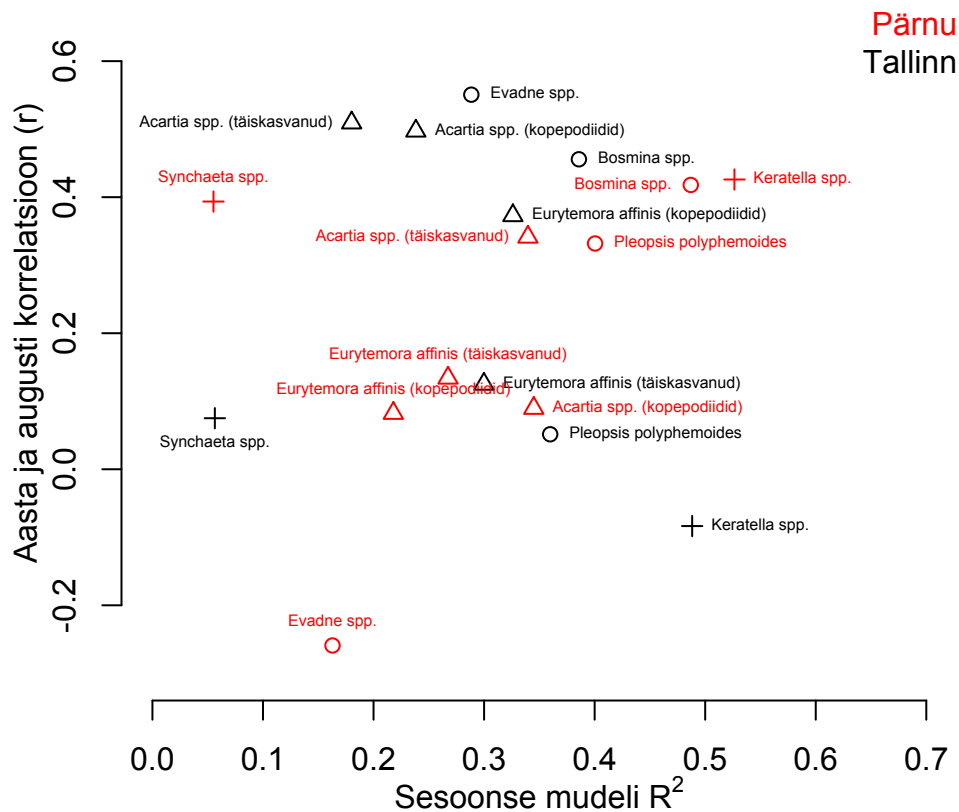
Aasta keskmise ja augusti keskmise arvukuse vahelise korrelatsiooni (Pearsoni korrelatsioonikoefitsient) tugevus varieerub päris palju ning pole eriti selget rühma või piirkonna efekti (s.t korrelatsioonide tugevused ei erine eriti vesikirpude, aerjalaliste ja keriloomade kaupa, ega ka Tallinna ja Pärnu lahe vahel). Tabelis 1 on näha, et *Acartia* spp. (täiskasvanud) ja *Bosmina* spp. augusti keskmiste ja aasta keskmiste korrelatsioon on tugev ( $r_{Acartia \text{ spp. (täiskasvanud)}}$  = 0.51 Tallinnas; 0.34 Pärnus ja  $r_{Bosmina \text{ spp.}}$  = 0.46 Tallinnas; 0.42 Pärnus). Samas *Eurytemora affinis* (täiskasvanud) ja *Eurytemora affinis* (kopepodiidid) augusti ja aasta keskmiste korrelatsioon on suhteliselt nõrk ( $r_{Eurytemora \text{ affinis (täiskasvanud)}}$  = 0.13 Tallinnas; 0.13 Pärnus ja  $r_{Eurytemora \text{ affinis (kopepodiidid)}}$  = 0.37 Tallinnas; 0.08 Pärnus)

**Tabel 1.** Pearsoni korrelatsioonikoefitsiendid ( $r$ ) augusti ja aasta keskmiste vahel taksonite ja jaamade kaupa.

Takson	Tallinn	Pärnu
<i>Acartia</i> spp. (täiskasvanud)	0.51	0.34
<i>Acartia</i> spp. (kopepodiidid)	0.50	0.09
<i>Eurytemora affinis</i> (täiskasvanud)	0.13	0.13
<i>Eurytemora affinis</i> (kopepodiidid)	0.37	0.08
<i>Evadne</i> spp.	0.55	-0.26
<i>Keratella</i> spp.	-0.08	0.34
<i>Bosmina</i> spp.	0.46	0.42
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	0.05	0.33
<i>Synchaeta</i> spp.	0.08	0.39

Aasta keskmiste ja augusti keskmiste korrelatsiooni ja sesoonse mustri vahel ma oodatud seost ei leidnud ( $p=0.615$ ,  $R^2=-0.04$ ), ka mitte siis, kui ma lisasin jaama või rühma (aerjalalised, vesikirbud, keriloomad) kategoorilise ennustava muutujana sesoonse mudeli  $R^2$ -le. Joonisel 5 on näha, et leidub taksoneid, kelle puhul on küll olemas väga tugev seos aasta keskmiste ja augusti väärtuste vahel, aga samas sesoonne muster on üsna nõrk, nt taksonitel *Synchaeta* spp. (Pärnus) ja *Acartia* spp. (täiskasvanud) (Tallinnas) on korrelatsioon aasta ja augusti keskmiste vahel tugev ( $r_{Synchaeta \text{ spp.}}$  = 0.4 ja  $r_{Acartia \text{ spp.}}$

(täiskasvanud) = 0.5), kuid sesoonne muster nõrk ( $R^2_{Synchaeta\ spp.} = 6\%$  ja  $R^2_{Acartia\ spp.} = 19\%$ ). Samas taksonitel *Keratella* spp. (Pärnus) ja *Bosmina* spp. (Tallinnas ja Pärnus) esineb tugev korrelatsioon ( $r_{Keratella\ spp.} = 0.43$  ja  $r_{Bosmina\ spp.} = 0.46$  Tallinnas; 0.42 Pärnus) augusti ja aasta keskmiste vahel ning sesoonne mustri tugevus on ka suur ( $R^2_{Keratella\ spp.} = 53\%$  ja  $R^2_{Bosmina\ spp.} = 40\%$  Tallinnas; 50% Pärnus). Seega, sesoonne muster mõjutab mingit osa taksonitest.



**Joonis 5.** Aasta ja augusti keskmiste arvukuste vahelise seose tugevuse sõltuvus sesoonest mustrist. Punased punktid tähistavad Pärnu ja mustad Tallinna andmeid, ringid vesikirpe, kolmnurgad aerjalalisi ja ristid keriloomi, vastavate taksonite nimed on punktide juures ära toodud.

Augustikuu jooksul kogutud proovide hulk varieerus 1-7 vahel Tallinnas ning 1-13 vahel Pärnus. Augustikuu keskmistest leitud trendi ei tuvastatud tagasivalikumeetodi puhul *Acartia* spp. (täiskasvanud) ja *Eurytemora affinis* (täiskasvanud) ja (kopepodiidid) puhul Tallinnas. Tugevad trendid, mis olid olemas augustikuu keskmistes arvukustes *Keratella* liikidel ja *Bosmina* liikidel Pärnus, tulid selgelt välja ka tagasivalikumeetodil. Samas

puudus trend Pärnus *Acartia* spp. (täiskasvanud) puhul, ehkki tagasivalikumeetod vähemalt 50% juhtudest olulise languse tuvastas (tabel 2).

**Tabel 2.** Tagasivalikumeetodiga hinnatud trendide kokkuvõte ja võrdlus augusti keskmiste põhjal arvutatud trendihinnangutega. Numbrid indikeerivad, kui mitmes juhuslikult valitud proovide kombinatsioonis trend leiti, vastavalt kas tõus või langus. Tärnid numbri järel indikeerivad augusti keskmistest arvutatud samasuunalise, s.t vastavalt kas tõusva või langeva, trendi olulisust (neil puhkudel, kui see oli oluline) järgmiselt: \* - p-väärtus 0.1-0.05, \*\* - p-väärtus 0.001-0.05, \*\*\* - p-väärtus < 0.001.

Takson	Tallinn		Pärnu	
	Tõuse	Langusi	Tõuse	Langusi
<i>Acartia</i> spp. (täiskasvanud)	0	0	0	137
<i>Acartia</i> spp. (kopepodiidid)	0	0*	0	489
<i>Eurytemora affinis</i> (täiskasvanud)	19	5**	0	46
<i>Eurytemora affinis</i> (kopepodiidid)	0	10**	0	39
<i>Evadne</i> spp.	0	0	0	316**
<i>Keratella</i> spp.	7	0	862***	0
<i>Bosmina</i> spp.	0	3	0	977***
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	0	138	0	23
<i>Synchaeta</i> spp.	67	0	0	280

## 5. ARUTELU

Eeldasin, et leian seose sesoonse mustri tugevuse ja aasta ning augustikuu arvukuse vahelise seose vahel. Kui liigi arvukus varieerub sesoonselt väga ettearvatavalt, siis aastatevaheline erinevus võiks nihutada seda sesoonset mustrit üles või alla, samas muutmata arvukuste suhtelist erinevust kuude vahel. Sellisel puhul peaks saama iga kuu arvukusest järeldada aasta keskmist taset. Lisaks eeldasin, et taksonite puhul, kelle arvukuse maksimum langeb augustile peegeldab augusti keskmine arvukus aasta keskmist täpsemini. Tulemused ei olnud väga selged, see tähendab, et osaliselt leidsin oma eeldustele kinnitust, aga samas oli ka taksoneid, kes käitusid väga erinevalt oodatust.

Enamustel taksonitel tõepoolest esineb sesoonne muster, samas maksimumi ajastus erineb Pärnu ja Tallinna vahel oluliselt. Mitmete taksonite arvukuse maksimumid saabuvad Pärnus varem (nagu näiteks *Eurytemora affinis*, *Bosmina* spp. ja *Keratella* spp.) kui Tallinnas, mis on ilmselt seotud pärnu lahe eraldatusega ja veetemperatuuri kiirema tõusuga kevadel (O'Brien *et al.*, 2013). Augusti arvukused peegeldavad aasta keskmisi arvukusi üsna hästi *Acartia* spp. ja *Bosmina* spp. puhul ja jaama spetsiifiliselt *Keratella* spp., *Synchaeta* spp. puhul Pärnus ning *Eurytemora affinis* (kopepodiidid) ja *Evadne* spp. puhul Tallinnas.

Statistiliselt olulist seost augusti – aasta korrelatsiooni ja sesoonse mustri tugevuse vahel ma ei tuvastanud. Näiteks *Eurytemora affinis* (täiskasvanud), *Acartia* spp. (kopepodiidid) ja *Keratella* spp. Tallinnas olid kõik keskmisest tugevama sesoonse mustriga, kuid nende augustikuiste arvukuste ja aasta keskmiste arvukuste vaheline korrelatsioon oli nulli lähedane või negatiivne. Vastupidiselt, *Synchaeta* liikidele, kelle sesoonne muster oli väga nõrk, kuid augustikuised arvukused Pärnus olid keskmisest tugevamas korrelatsioonis aasta keskmistega. Üldiselt suurem osa taksoneid, kelle augusti ja aasta korrelatsioon tugevam oli saavutasid oma arvukuse maksimumi augustis, näiteks: *Acartia* spp. ja *Bosmina* spp. Seega võib järeldada, et augustikuu proovide põhjal arvatud pika-ajalised trendid on mõnede taksonite puhul usaldusväärsemad, kui teiste puhul ning, et vähemalt osade suvel arvukuse maksimumi saavutatavate taksonite puhul on augusti number usaldusväärsem (*Acartia* spp. (täiskasvanud) ja *Bosmina* spp.), kui kevadiste puhul (*Eurytemora affinis*).

Suhteliselt huvitav ökoloogiline aspekt on see, et *Keratella* spp. ja *Bosmina* spp. olid Pärnus nii tugeva sesoonse mustriga ja, et nende puhul seos aasta ja augusti keskmiste

vahel üks tugevamaid oli, kuivõrd mõlemad on väga kiire elutsükliga ja *Keratella* spp. puhul arvatakse ka, et planktoni võrguga võetud proovid ei peegelda nende arvukust väga täpselt (Mart Simm, konsultatsioon). Üldiselt oleks võinud oodata, et sesoonne muster on selgem ja, et seosed augusti ja aasta keskmiste vahel on tugevamad pikema elutsükliga organismide puhul, nagu seda on aerjalalised. See, et *Keratella* spp. ja *Synchaeta* spp. Pärnus augusti ja aasta keskmiste tugeva korrelatsiooni andsid on ilmselt jälle seotud Pärnu lahe magedaveelisema keskkonnaga ja vähem avamere mõjutustele avatusega. Tallinna lahe tulemused on pisut paremas kooskõlas Läänemerega tervikuna, kuna on rohkem avatud avamere mõjule (O'Brien *et al.*, 2013).

Tagasivalikumeetodiga läbiviidud test andmetes sisalduva informatsiooni järjepidevuse väljaselgitamiseks näitas, et teatud taksonite puhul on arvukuse varieeruvus lühikesel ajaskaalal küllaltki suur. Testis kasutasin ainult augusti kuus kogutud numbreid, mis tähendab, et erinevatesse alamvalimitesse sattunud proovid ei saanud olla suurema ajavahega, kui kaks-kolm nädalat. Sellegipoolest, mõne liigi puhul suhteliselt suurel osal kordadest olid tulemused erinevad, näiteks *Acartia* spp. (kopepodiidid) Pärnus, kelle puhul pooltel kordadel trend leiti ja pooltel mitte. Kõige häirivamad olid sellised juhtumid, kus tagasivalikuga sisuliselt kordagi trendi ei leitud, samas, kui augusti keskmiste põhjal oli arvukustes trend olemas, nagu *Acartia* spp. (kopepodiidid), *Eurytemora affinis* (täiskasvanud) ja (kopepodiidid) Tallinnas. Teoreetiliselt on tagasivalikumeetodiga saadud tulemus tõe lähemal, kuna see arvestab andmetes sisalduvat varieeruvust. Teatud taksonite puhul, nagu näiteks *Keratella* spp. ja *Bosmina* spp. Pärnus oli pika-ajaline trend nii ilmne, et see tuli välja nii augusti keskmistest, kui suuremas osas tagasivaliku katsetustest. Seega on võimalik, et eelnevalt mainitud taksonite puhul antud piirkonnas sobib augustis kord aastas võetud proov trendide hindamiseks.

Kokkuvõttes võib öelda, et algselt püstitatud hüpoteesid, s.t, et taksonitel, kelle sesoonne muster on tugevam ning kelle arvukuse maksimum saabub augustis, peegeldab augusti arvukus aasta arvukust paremini, leidsid ainult nõrka toetust ja tulemused olid üsna vastuolulised. Hetkel sai analüüs läbiviidud 7 taksoniga, kõigiga kahes jaamas, aerjalaliste puhul lisaks veel kahe vanusejärgu kaupa (kokku 18 testi). Töö oli mõeldud pilootprojektina samasisulise suurema analüüsi alustamiseks. See tähendab, et sama analüüsi laiendatakse suuremale hulgale liikidele ja ka teistele kuudele lisaks augustile, viimane võiks pakkuda teoreetiliselt soovitusi selle kohta, mis kuu võiks olla kõige parem monitooringute läbiviimiseks, kui seda tahta teha kord aastas.



## KOKKUVÕTE

Zooplankton on oluline lüli primaarprodutsentide (fütoplankton) ja kõrgemate toiduahela astmete vahel, mistõttu muutused zooplanktoni liigilises koosseisus ja võtmerühmade suhtelistes arvukustes on olulised nii ökosüsteemide toimimise ja seisundi hindamisel, kui ka majanduslikult oluliste kalavarude prognoosimisel. Enamik töödest, mis mainivad pikaajalisi trende on jõudnud oma järeldusteni analüüsides kord aastas kogutud proove, mille puhul, ma kahtlustan, tulemused ei pruugi adekvaatselt mõõta tegelikke trende. Käesoleva töö peamine eesmärk oli võrrelda eri taksonite kaupa leitavate trendide sõltuvust sellest, kui suurt osa andmetest analüüsis kasutada. Uurisin, kas tulemused erinevad üksteisest oluliselt, kui trende arvutada aasta kohta ühel juhuslikult valitud proovil augustis, kõigil proovidel, mis on kogutud augustis või kõigil proovidel, mis on kogutud aktiivse produktsiooni perioodi (aprill-november) jooksul. Lisaks uurisin, kuidas sõltub augusti proovide ja kogu aasta andmete põhjal arvutatud aasta keskmiste korrelatsioon liigi arvukuse sesoonsusest.

Tulemused näitasid, et peaaegu kõik antud analüüsis käsitletud taksonite arvukused järgisid sesoonset mustrit, kuid selle tugevus ja maksimumi esinemise aeg varieerusid taksoni ja piirkonna spetsiifiliselt. Aasta keskmise ja augusti keskmise arvukuse vahelise korrelatsiooni (Pearsoni korrelatsioonikoefitsient) tugevus varieerus oluliselt (-0.26 – 0.55) ning polnud eriti selget rühma või piirkonna efekti. Aasta keskmiste ja augusti keskmiste korrelatsiooni ja sesoonse mustri vahel ma oodatud seost ei leidnud ( $p=0.615$ ,  $R^2=-0.04$ ).

Algselt püstitatud hüpoteesid, s.t, et taksonitel, (1) kelle sesoonne muster on tugevam ning (2) kelle arvukuse maksimum saabub augustis peegeldab augusti arvukus aasta arvukust paremini, leidsid ainult nõrka toetust ja tulemused olid üsna vastuolulised. Enamikel taksonitel esineb sesoonne muster, samas maksimumi ajastus erineb Pärnu ja Tallinna vahel. Teatud taksonite puhul, nagu näiteks *Keratella* spp. ja *Bosmina* spp. Pärnus, oli pika-ajaline trend nii ilmne, et see tuli välja nii augusti keskmistest, kui suuremas osas tagasivaliku katsetustest. Seega võib järeldada, et augustikuu proovide põhjal arvutatud pika-ajalised trendid on mõnede taksonite puhul usaldusväärsemad, kui teiste puhul ning, et vähemalt osade suvel arvukuse maksimumi saavutatavate taksonite puhul on augusti number usaldusväärsem (*Acartia* spp. (täiskasvanud) ja *Bosmina* spp.), kui kevadiste puhul (*Eurytemora affinis*).

## SUMMARY

### **The effect of sampling frequency and calculation method on the estimates of long-term trends in zooplankton abundance**

Zooplankton is crucial link in energy transfer from primary producers (phytoplankton) to higher trophic levels, changes in zooplankton abundances are important in assessing ecosystems status and functioning as well as in predicting economically important fish stocks. Majority of the studies that mention the long-term trends of zooplankton in the Baltic Sea analyze samples collected only once a year, and I suspect the results may not adequately measure the actual trends. The aim of this study was to compare the trends found for dominant zooplankton taxa using different subsets of data. Using the high-frequency long-term data (from weekly to biweekly) from two Estonian coastal monitoring stations, I study if the results differ by large depending on whether the yearly trends are calculated from the August data only or (either 1 or all samples collected in August) or from all the samples that were collected during the active production period (annual means over April to November), and how the correlation of August and annual means depend of the seasonal abundance pattern of the corresponding taxa.

Abundances of almost all studied taxa followed seasonal pattern, with the taxon and station specific strength of the pattern and timing of the maximum. The strength of the correlation between August mean abundances and annual mean abundances varied a significantly (Pearson's  $r$  from -0.25 to 0.55) and there was not very clear effect of group or region. I did not find expected relation ( $p=0.615$ ,  $R^2=0.04$ ) between the correlation of august means and annual means and seasonal pattern. The original hypotheses (1) that taxa whose seasonal pattern is stronger and (2) whose peak abundances occurs in August, the August abundance reflects the annual abundance the best, were not confirmed. With some species, such as *Keratella* spp. and *Bosmina* spp. in Pärnu, the long-term trend is obvious and found in any way. The analysis, at the very least, demonstrated that the reliability of long-term trends based on the August samples only are not equally liable for all zooplankton taxa, although at least for some of the taxa reaching their maximum in the late summer (*Acartia* adult spp. and *Bosmina* spp.), the August abundance correlates in a more consistent way with the yearly means than for the species that have their peak abundance in spring (*Eurytemora affinis*).

## **TÄNUAVALDUSED**

Suurepärase juhendamise ja motiveerimise eest tänan oma juhendajat Riina Klais'i. Samuti tänan oma perekonda ja sõpru, kes osutasid töö valmimisel igakülgset abi.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Abrikossov, G., Bekker, E., Levinson, L., Matvejev, B. ja Paramonov, A., 1960. Selgrootute zooloogia. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, lk 226-230, 340-343, 346-348.
- Brusca, C.R. ja Brusca, J.G., 1990. Invertebrates. Sunderland Massachusetts, Sinauer Associates, inc., lk 336-343, 606, 609-610.
- Carstensen, J., Conley, D.J., Andersen, J.H. ja Ærtebjerg, G., 2006. Coastal eutrophication and trend reversal: A Danish case study. *Limnology and Oceanography* 51, 398-408.
- Dalpadado, P., Ingvaldsen, R.B., Stige, L.C., Bogstad, B., Knutsen, T., Ottersen, G. ja Ellertsen, B., 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *ICES Journal of Marine Science* 69, 1303-1316.
- Dippner, J.W., Kornilovs, G. ja Sidrevics, L., 2000. Long-term variability of mesozooplankton in the Central Baltic Sea. *Journal of Marine Systems* 25, 23-31.
- Dippner, J.W., Hänninen, J., Kuosa, H. ja Vuorinen, I., 2001. The influence of climate variability on zooplankton abundance in the Northern Baltic Archipelago Sea (SW Finland). *ICES Journal of Marine Science* 58, 569-578.
- Forró, L., Korovchinsky, N., Kotov, A. ja Petrusek, A., 2008. Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Freshwater Animal Diversity Assessment*. Springer, lk 177-184.
- Haberman, J. ja Virro, T., 2003. Zooplankton. *Võrtsjärv: Loodus aeg inimene* (ed. by J. Haberman, E. Pihu and A. Raukas). Eesti Entsüklopeedia Kirjastus, Tallinn, lk 541.
- Haberman, J., Virro, T. ja Kirkmann, K., 2008. Zooplankton. *Peipsi* (ed. by J. Haberman, T. Timm and A. Raukas). Eesti Loodusfoto, Tartu, lk 472.
- Hansson, S., Dippner, J.W. ja Larsson, U., 2010. Climate effects on zooplankton biomasses in a coastal Baltic Sea area. *Boreal Environment Research* 15, 370-374.
- Hays, G.C., Richardson, A.J. ja Robinson, C., 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* 20, 337-344.
- HELCOM, 1988. Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the Third Stage. Part D. Biological Determinands. Baltic Sea Environment Proceedings No. 27 D.
- HELCOM, 2001. Environment of the Baltic Sea area 1994-1998. Baltic Sea Environment Proceedings No. 82A.
- HELCOM, 2014. Manual for Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission.

- ICES, 2008. Report of the ICES Advisory Committee. *ICES Advice, 2008* Book 8, 133.
- Ikauniece, A., 2001. Long-term abundance dynamics of coastal zooplankton in the Gulf of Riga. *Environment International* 26, 175-181.
- Järvekülg, A. ja Veldre, I., 1963. Elu Läänemeres. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, lk 7-12, 82-124.
- Katajisto, T., 2003. Development of *Acartia bifilosa* (Copepoda: Calanoida) eggs in the northern Baltic Sea with special reference to dormancy. *Journal of Plankton Research* 25, 357-364.
- Lalli, C.M. ja Parsons, T.R., 1997. Chapter 4 - Zooplankton. *Biological Oceanography: An Introduction (Second Edition)* (ed. by C.M. Lalli and T.R. Parsons). Butterworth-Heinemann, Oxford, lk 74-111.
- Laur, K., Ojaveer, H., Simm, M. ja Klais, R., 2014. Multidecadal dynamics of larval gobies *Pomatoschistus* spp. in response to environmental variability in a shallow temperate bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 136, 112-118.
- Mackas, D.L. ja Beaugrand, G., 2009. Comparisons of zooplankton time series. *Journal of Marine Systems* 79, 286-304.
- Möllmann, C., Kornilovs, G. ja Sidrevics, L., 2000a. Long-term dynamics of main mesozooplankton species in the central Baltic Sea. *Journal of plankton research* 22, 2015-2038.
- Möllmann, C., Kornilovs, G. ja Sidrevics, L., 2000b. Long-term dynamics of main mesozooplankton species in the central Baltic Sea. *Journal of Plankton Research* 22, 2015-2038.
- Möllmann, C., Köster, F.W., Kornilovs, G. ja Sidrevics, L., 2002. Long-term trends in abundance of cladocerans in the Central Baltic Sea. *Marine Biology* 141, 343-352.
- Möllmann, C., Kornilovs, G., Fetter, M. ja Köster, F., 2005. Climate, zooplankton, and pelagic fish growth in the central Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1270-1280.
- Möllmann, C., Müller-Karulis, B., Kornilovs, G. ja St John, M.A., 2008. Effects of climate and overfishing on zooplankton dynamics and ecosystem structure: Regime shifts, trophic cascade, and feedback loops in a simple ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 65, 302-310.
- O'Brien, T.D., Wiebe, P.H. ja Falkenhaus, T., 2013. ICES Zooplankton Status Report 2010/2011. *ICES Cooperative Research Report* 318, 208.
- Ojaveer, E., Lumberg, A. ja Ojaveer, H., 1998. Highlights of zooplankton dynamics in Estonian waters (Baltic Sea). *ICES Journal of Marine Science* 55, 748-755.
- Otto, S.A., Diekmann, R., Flinkman, J., Kornilovs, G. ja Mollmann, C., 2014. Habitat heterogeneity determines climate impact on zooplankton community structure and dynamics. *PLoS One* 9, 1-11.

- Palosaari, J. ja Rantajärvi, E., 2007. HELCOM lepinguga määratud Läänemere seisundi seire. [http://www.itameriportaali.fi/et/itamerentila/seuranta/et\\_EE/2855/](http://www.itameriportaali.fi/et/itamerentila/seuranta/et_EE/2855/) (külastatud 11.05.2014).
- Philippart, C.J.M., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T., O'Sullivan, G. ja Reid, P.C., 2011. Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 52-69.
- Põllupüü, M., 2010. Ecological relations of cladocerans in a brackish-water ecosystem. Tartu Ülikool, Tartu.
- Põllupüü, M., Simm, M. ja Ojaveer, H., 2010. Life history and population dynamics of the marine cladoceran *Pleopis polyphemoides* (Leuckart)(Cladocera, Crustacea) in a shallow temperate Pärnu Bay (Baltic Sea). *Journal of Plankton Research* 32, 1459-1469.
- Segers, H., 2008. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 49-59.
- Suikkanen, S., Pulina, S., Engström-Öst, J., Lehtiniemi, M., Lehtinen, S. ja Brutemark, A., 2013. Climate Change and Eutrophication Induced Shifts in Northern Summer Plankton Communities. *PLoS ONE* 8, 1-10.
- Telesh, I.V., 2004. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. *Marine Pollution Bulletin* 49, 206-219.
- Telesh, I.V., Postel, L., Heerkloss, R., Mironova, E. ja Skarlato, S., 2009. Zooplankton of the Open Baltic Sea: Extended Atlas. *BMB Publication No. 21* 76, 1-290.
- Viitasalo, S. ja Viitasalo, M., 2004. Predation by the mysid shrimps *Mysis mixta* and *M. relicta* on benthic eggs of *Bosmina longispina maritima* (Cladocera) in the northern Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 281, 155-163.
- Vuorinen, I., Hänninen, J., Viitasalo, M., Helminen, U. ja Kuosa, H., 1998. Proportion of copepod biomass declines with decreasing salinity in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 55, 767-774.

**Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Kirsi Loide

(sünnikuupäev: 26.01.1990)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Andmete sageduse ja arvutusmeetodi mõju zooplanktoni pika-ajaliste trendide hinnangutele,

mille juhendaja on Riina Klais

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 26.05.2014